

論文

関東育種基本区において開発した幹重量の大きいヒノキ品種の遺伝獲得量  
Genetic gain on higher stem weight cypress clones in Kanto breeding region

宮下久哉\*<sup>1</sup>・平岡裕一郎\*<sup>1</sup>・高島有哉\*<sup>1</sup>・加藤一隆\*<sup>1</sup>  
Hisaya MIYASHITA \*<sup>1</sup>, Yuichiro HIRAOKA \*<sup>1</sup>, Yuuya TAKASHIMA \*<sup>1</sup>, Kazutaka KATO \*<sup>1</sup>

\* 1 森林総合研究所林木育種センター  
Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Hitachi, Ibaraki 319-1301

**要旨**：森林総合研究所林木育種センターでは、森林の二酸化炭素吸収源としての機能の向上に寄与するため、「幹重量の大きい品種」の開発を進めている。本報告では、幹重量の大きいヒノキ品種の開発過程において、次代検定林における成長量とピロディン陥入量の調査データを解析し、系統毎の樹高、胸高直径及び材密度の一般組合せ能力を推定した。さらに、それに基づいて系統毎の単木幹重量を予測し、育種区毎の遺伝獲得量を算出した。単木幹重量の大きさについては、樹高及び胸高直径から算出した幹材積の影響が、材密度より大きかった。単木幹重量の遺伝獲得量は、いずれの育種区においても7%以上となり、単木幹重量に関して育種手法による改良が可能であることが示された。  
**キーワード**：ヒノキ、幹材積、材密度

**Abstract** : Forest Tree Breeding Center has conducted a specific tree breeding program “Development of higher stem weight clones for *Chamaecyparis obtusa* (Japanese cypress)” to contribute improvement of forest function as carbon sink. In this study, general combination ability of each clone for tree height, DBH and wood density was estimated from data analysis of growth and Pylodyn penetration in progeny tests under the program. Additionally, individual stem dry weight of each clone was predicted in accordance with the combination ability, and the genetic gain in each breeding region was calculated. It was found that individual stem weight was correlated with stem volume, which was calculated from tree height and diameter, compared to wood density. Genetic gain of more than 7% in stem weight was recognized in all breeding regions. This result, therefore, shows that a tree breeding program can be applied to improvement in the individual stem weight of Japanese cypress.

**Keywords** : *Chamaecyparis obtusa* , Stem volume, Wood density

I はじめに

森林総合研究所林木育種センターは、森林の二酸化炭素吸収源としての機能向上を目的に、二酸化炭素の吸収・固定能力の高い「幹重量の大きい品種」の開発を進めている。平成28年度においては、国立研究開発法人森林研究・整備機構第4期中期計画（平成28～32年度）に基づき、ヒノキを対象として、幹重量の大きいヒノキ品種を6品種開発した。品種開発にあたっては、自然交配によって得られたヒノキ精英樹の実生後代が植栽された次代検定林において、成長量と材密度の調査を実施し、その調査結果を基に各系統を評価している。

本報告では、幹重量の大きいヒノキ品種の開発過程における成長量と材密度の解析結果と、単木幹重量の遺伝獲得量を検討した。

成長量を評価した次代検定林は、関東育種基本区に設定されている次代検定林95箇所である(表-1)。成長量は、20年次と30年次の樹高及び胸高直径について評価した。成長量を評価した精英樹の系統数は262となった(表-2)。

材密度に関しては、上記95検定林の中から、成長が良好で病虫獣害の被害の程度が少ない検定林を選定し、北関東育種区3箇所、中部山岳育種区4箇所、東海育種区2箇所の合計9箇所において調査した(表-3)。各検定林内における反復の数は、3反復である。ただし、関長15号検定林については、林内において斜面の崩落があり2反復となった。検定木の植栽方式は列状プロット植栽であり、各プロットに20本植えられている。

材密度の評価として、立木状態において幹のピロディン陥入量を測定した。測定には、Pilodyn 6J Forest (スイスProceq製)を用いて、一定のバネの力(6ジュール)に

II 材料と方法

よるピンの陥入量を地上高 1.2m において測定した。測定は斜面に直交した二方向において実施し、その平均値を個体測定値とした。ピロディン陥入量の測定は、反復内で成長が良好な個体を対象とし、反復あたり系統原則 5 本以上とした。ピロディン陥入量を測定した検定林のうち 1 箇所（関名 2 号検定林）において材密度の実測値を得るため、伐測定個体のピロディン陥入量の測定部位から円板を採取し、円板から髄を含む 3 cm 幅の短冊状の試験体を切り出し浮力法により容積密度を測定した。ピロディン陥入量を測定した精英樹の系統数は 142 系統で、供試個体数は 4,369 本となった。

表-1. 成長量評価に用いたヒノキ次代検定林数  
Table 1. Number of progeny test sites used for evaluation of growth traits

育種区	県	検定林数
北関東	福島県	1
	栃木県	9
	群馬県	5
関東平野	茨城県	6
	埼玉県	1
	千葉県	1
	神奈川県	1
中部山岳	長野県	12
	岐阜県	22
東海	静岡県	27
	愛知県	10
計		95

表-2. 成長量を評価した精英樹数  
Table 2. Number of evaluated plus trees

育種区	選抜地	精英樹数	評価数
北関東	福島県	33	4
	栃木県	8	8
	群馬県	9	9
関東平野	茨城県	18	9
	千葉県	16	13
	埼玉県	58	18
	東京都	15	11
	神奈川県	46	26
中部山岳	長野県	38	33
	山梨県	15	9
	岐阜県	49	47
東海	静岡県	64	42
	愛知県	33	33
計		402	262

表-3. 材密度を評価した検定林  
Table 3. List of progeny test sites used for evaluation of wood density

検定林名	育種区名	所在地	調査年次	植栽系統	調査本数
関前 29	北関東	栃木県	40	42	613
関前 30	北関東	栃木県	40	40	591
関前 63	北関東	栃木県	29	50	655
関長 15	中部山岳	長野県	41	50	392
関長 19	中部山岳	長野県	40	38	539
関名 2	中部山岳	岐阜県	39	45	103
関名 23	中部山岳	岐阜県	28	51	597
関東 34	東海	静岡県	38	33	408
関東 35	東海	静岡県	38	32	471

樹高、胸高直径及びピロディン陥入量を評価するため、各系統の測定値を用いて BLUP (Best Linear Unbiased Prediction, 最良線形不偏予測) 法によって一般組合せ能力を推定した (6)。解析には、統計解析ソフト ASReml 3.0 を用いて、2 形質線形混合モデルに基づき算出した (1)。同時に解析する形質は、20 年次と 30 年次の樹高、20 年次と 30 年次の胸高直径、ピロディン陥入量と材密度の 3 組合せとした。この方法では、各組合せで片方の形質データが欠損している場合でも、他方のデータで一般組合せ能力の予測が可能となる。解析に使用したモデルは次式とした。

$$y_{ijkl} = \mu + S_i + B(S)_{ij} + GCA_k + SG_{ik} + e_{ijkl}$$

$\mu$  は全体平均、 $S_i$  は  $i$  番目の検定林の効果、 $B(S)_{ij}$  は  $i$  番目の検定林における  $j$  番目のブロックの効果、 $GCA_k$  は  $k$  番目の母親の効果 (一般組合せ能力)、 $SG_{ik}$  は  $i$  番目の検定林と  $k$  番目の家系の交互作用効果、 $y_{ijkl}$  および  $e_{ijkl}$  はそれぞれ  $i$  番目の検定林、 $j$  番目のブロック内、 $k$  番目の家系の  $l$  番目の観察値及び残差のベクトルである。なお、 $\mu$ 、 $S_i$  及び  $B(S)_{ij}$  は固定効果、 $GCA_k$ 、 $SG_{ik}$  及び  $e_{ijkl}$  は変量効果とした。本解析により、各効果の分散成分と合わせて、各変量効果の 2 形質間の共分散を推定した。なお観察値は、樹高と胸高直径ではプロット平均値、ピロディン陥入量と容積密度では個体測定値とした。本研究では、一般組合せ能力を 2 倍したものに全体平均と検定林の効果の平均値を足したものを各形質の予測値とした。

単木幹材積の予測値は、30 年次の樹高及び胸高直径の予測値を用いて、森林総合研究所「幹材積計算プログラム」により算出した (2)。さらに単木幹重量の予測値は、単木幹材積の予測値と容積密度の予測値の積とした。単木幹重量の遺伝獲得量 ( $G$ ; %) は次式により算出した。

$$G = (W_s - W_A) / W_A \times 100$$

ここで  $W_s$  は幹重量の大きい品種の予測値、 $W_A$  は母集団の予測値の平均を示す。

### III 結果と考察

各形質の予測値の平均と変動係数を示す(表-4)。胸高直径の変動係数が最も高い値となった。幹材積と材密度の予測値の変動係数を比較すると、幹材積の変動係数が高い値となった。このことから検定林に植栽されているヒノキ実生後代においては、材密度よりも幹材積の方が、変異が大きいといえる。

表-4. 各形質の予測値の平均と変動係数  
Table 4. Summary of predicted values for the evaluated traits

	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	幹材積 (m <sup>3</sup> )	材密度 (kg/m <sup>3</sup> )	幹重量 (kg)
平均値	12.8	16.6	0.148	384	57.1
最大値	13.1	18.1	0.180	403	69.4
最小値	12.5	15.6	0.127	353	49.6
標準偏差	0.1	0.4	0.009	7	3.5
変動係数	0.8%	2.7%	6.0%	1.9%	6.1%

各形質の予測値における形質間の相関を表-5に示す。樹高と胸高直径の相関は 0.738 となった( $P < 0.01$ )。これに対し、樹高と材密度及び胸高直径と材密度には有意な相関は認められなかった( $P > 0.05$ )。このことから、成長形質と材密度は遺伝的に独立で、別々に選抜することが可能であることが考えられる。

表-5. 予測値の形質間相関  
Table 5. Correlation coefficients between the traits based on the predicted values

	樹高	胸高直径	幹材積	材密度	幹重量
樹高		0.738	0.788	-0.042	0.764
胸高直径	**		0.997	-0.127	0.943
幹材積	**	**		-0.116	0.950
材密度	n.s.	n.s.	n.s.		0.201
幹重量	**	**	**	*	

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$ , n.s. : not significant

続いて、幹重量の大きいヒノキ品種の形質毎の予測値を示す(表-6)。「国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター品種開発実施要領-幹重量(二酸化炭素吸収・固定能力)の大きい品種-」(平成 29 年 3 月 30 日付 28 森林林育第 111 号)において

は、単木幹重量における 5 段階評価の評価値が 4 以上を品種の評価対象木とすることとしており、さらに幹の通直性や種子生産性等も考慮することとしている。そのため、供試した 142 系統に対して評価値が 4 以上のものは 36 系統であったのに対し、最終的に幹重量が大きい品種には 6 系統が選ばれた。選抜圧は、材密度を調査した 142 系統に対して、4%にあたる。各形質の遺伝獲得量を比較すると、いずれの育種区においても、材密度より幹材積で遺伝獲得量の値よりも大きい傾向があった。このことから、単木幹重量における系統間の差異には、材密度より幹材積の影響が大きいことが認められた。

次に、幹重量の大きいヒノキ品種の 6 系統における単木幹重量の遺伝獲得量をみると、北関東育種区で平均 7%、中部山岳育種区で平均 7%、東海育種区で平均 9%であった。このことから、遺伝獲得量の平均はいずれの育種区においても 7%以上となり、単木幹重量に関して育種手法による改良が可能であることが示された。

### IV おわりに

上記の通り、材密度を調査した検定林は、成長が良好で病虫獣害の被害の程度が少ない検定林であり、いずれの検定林においても、母集団は、各地方の林分収穫表における地位上位の主林木幹材積に対して同等以上であった(3, 4, 5)。このようなヒノキの成長が旺盛な林分においても、幹重量の大きな品種は、植栽したヒノキの中で、より優れた成長を示し、かつ材密度も低下しないといった特性を示している。このことから、幹重量の大きい品種は、林業用の優れた造林木となることが期待出来る。

### 引用文献

- (1) GILMOUR A.R., GOGEL, B.J., CULLIS, B.R., THOMPSON, R. (2009) ASReml user guide release 3.0 VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK [www.vsn.co.uk](http://www.vsn.co.uk)
- (2) 細田和男・光田 靖・家原敏郎 (2010) 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌 **44(2)**:23-39
- (3) 林野庁・林業試験場 (1961) 関東地方ひのき林分収穫表調整説明書. 収穫表調整に関する研究報告 **27**:71
- (4) 林野庁・林業試験場 (1955) 木曾地方ヒノキ林分収穫表調整説明書. 収穫表調整に関する研究報告 **8**:72
- (5) 林野庁・林業試験場 (1955) 天城地方ひのき林分収穫表調整説明書. 収穫表調整に関する研究報告 **10**:40
- (6) 佐々木義之 (2007) 変量効果の推定と BLUP 法. 京都大学出版会, 京都

表-6. 幹重量の大きいヒノキ品種の予測値と遺伝獲得量  
 Table 6. Predicted values and genetic gains for the traits in the higher stem weight cypress clones

育種区	系統名	選抜地	樹高 <sup>1)</sup> (m)	胸高直径 <sup>1)</sup> (cm)	幹材積 <sup>2)</sup> (m <sup>3</sup> )	材密度 <sup>3)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	幹重量 <sup>4)</sup> (kg)	5段階 評価値 <sup>5)</sup>
北関東	宇都宮1号	栃木県	12.9	17.0	0.156	388	60.7	4
	大間々2号	群馬県	12.8	17.5	0.164	388	63.7	5
	全系統平均		12.8	16.7	0.149	387	57.9	
	幹重量の大きいヒノキ品種 ／全系統平均		0%	3%	7%	0%	7%	
中部山岳	妻籠3号	長野県	12.8	16.8	0.151	391	59.0	4
	高山2号	岐阜県	12.9	16.7	0.150	400	59.9	4
	全系統平均		12.8	16.5	0.146	383	55.5	
	幹重量の大きいヒノキ品種 ／全系統平均		0%	2%	3%	3%	7%	
東海	富士4号	静岡県	13.0	17.6	0.168	377	63.3	5
	富士6号	静岡県	13.0	17.8	0.172	384	65.7	4
	全系統平均		12.8	16.7	0.149	383	59.3	
	幹重量の大きいヒノキ品種 ／全系統平均		2%	6%	14%	-1%	9%	

1: 予測値、2: 樹高及び胸高直径の予測値から算出、3: プロディン陥入量の予測値から算出、4: 幹材積及び材密度から算出、  
 5: 幹重量における系統毎の平均値及び標準偏差から算出